

¿POR QUÉ EL VALLE DEL GUADALQUIVIR ES LA “SARTÉN” DE ESPAÑA?

Nicolás Bermejo Trimiño

Delegación Territorial de AEMET en Andalucía, Ceuta y Melilla



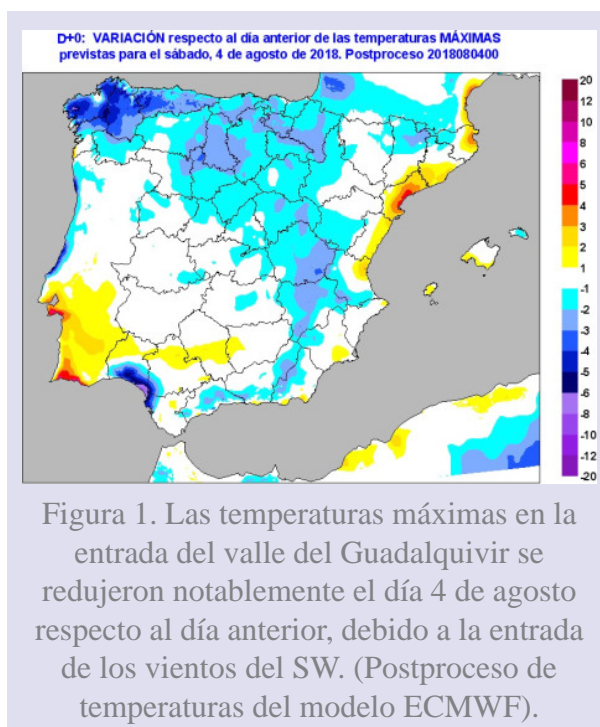
(publicado en el blog de AEMET el 9 de agosto de 2018)

En verano siempre tenemos noticias a diario en los informativos sobre la ciudad con mayor temperatura máxima de la Península, y es raro que no aparezca entre ellas alguna ciudad del valle del Guadalquivir. Normalmente Córdoba, otras veces Andújar o Sevilla, y en los últimos años Montoro, suelen copar el podio de la “sartén” de España. Pero, ¿Por qué suele hacer tanto calor en estas localidades? Esa es la pregunta que me llevó a investigar un poco sobre el tema y a escribir el siguiente artículo.

1. La brisa de valle

Una de las claves acerca de la temperatura máxima que se puede alcanzar en un punto del valle del Guadalquivir durante un día de verano, es saber si ese día entrará la brisa y a qué hora. Una brisa procedente del mar hará que las temperaturas máximas sean más contenidas, sobre todo en las localidades del valle más cercanas a la costa.

Los vientos o brisa de valle forman parte de una circulación cerrada de vientos que se producen debido a la diferencia de temperatura entre el aire dentro del valle y el aire de la llanura situado fuera del valle. Al calentarse más el aire, su presión desciende también más, formándose una pequeña zona de bajas presiones o baja térmica. El viento producido por este gradiente de presión horizontal suele alcanzar una velocidad máxima de entre 18 y 37 km/h, y su dirección es paralela al eje del valle. Durante el día soplan desde de la llanura hacia el interior del valle y de noche al contrario, siempre dirigido desde las altas hacia las bajas presiones.



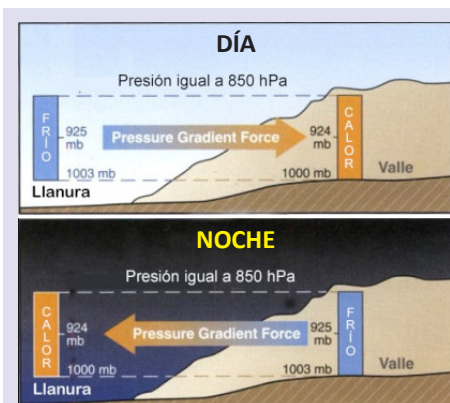
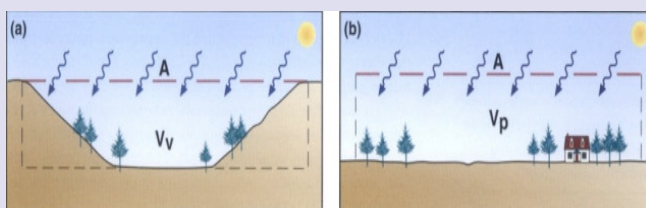


Figura 3. Imagen adaptada de “Mountain Meteorology”, de C. D. Whiteman.

Figura 2. De día, como la presión es menor dentro del valle el aire fluirá desde la llanura hacia el interior del mismo. Por la noche ocurre justamente lo contrario. La atmósfera del valle se enfría más rápidamente, produciendo una mayor presión en la columna del valle y conduciendo un flujo de aire valle abajo. (Adaptado del libro “Mountain Meteorology”, de C. D. Whiteman).



Hemos visto que durante el día el aire dentro del valle se calienta más que el aire de la llanura situado fuera del valle. Pero, ¿por qué se calienta más ese aire? El área del valle (figura 3a) recibe la misma cantidad de insolación que el área de la llanura (figura 3b), pero como el volumen de aire dentro del valle es menor este se calienta más.

En la termografía de la figura 4, tomada por el satélite AQUA el día 13 de julio de 2017, podemos ver cómo al mediodía las zonas más calientes (píxeles naranjas) están dentro del valle del Guadalquivir. Ese día se llegaron a alcanzar temperaturas de hasta 46 °C en Córdoba y Sevilla.

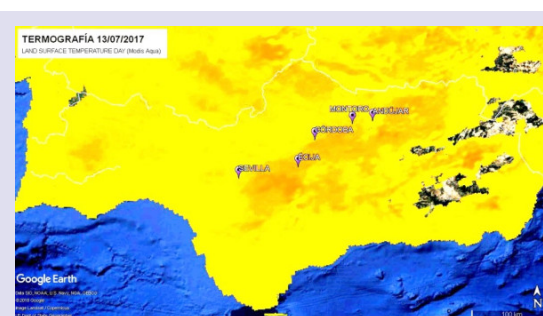


Figura 4. Termografía tomada por el satélite AQUA el día 13 de julio de 2017 a las 13 UTC (15 hora local).

Los vientos valle arriba y valle abajo se superponen a su vez a los vientos de ladera que ascienden desde el fondo del valle hacia la sierra durante el día y descienden desde la sierra al valle por la noche. Los vientos de ladera tienen el mismo origen térmico que los vientos del valle. Por la mañana la ladera de una montaña se calienta antes que la vega del valle, por lo que disminuye la presión y el viento fluye del valle a la montaña.

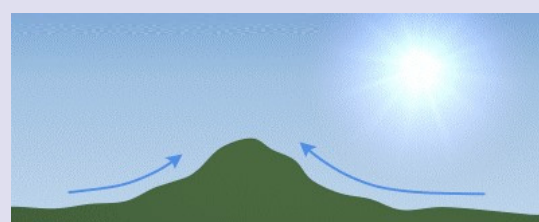


Figura 5. Brisa de ladera ascendente. (Adaptado de The COMET Program).

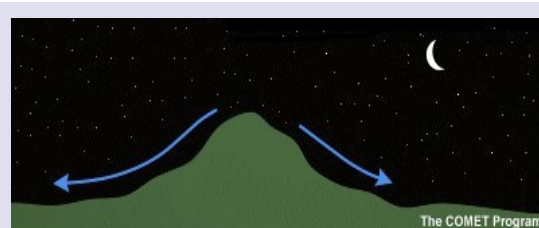


Figura 6. Brisa de ladera descendente.

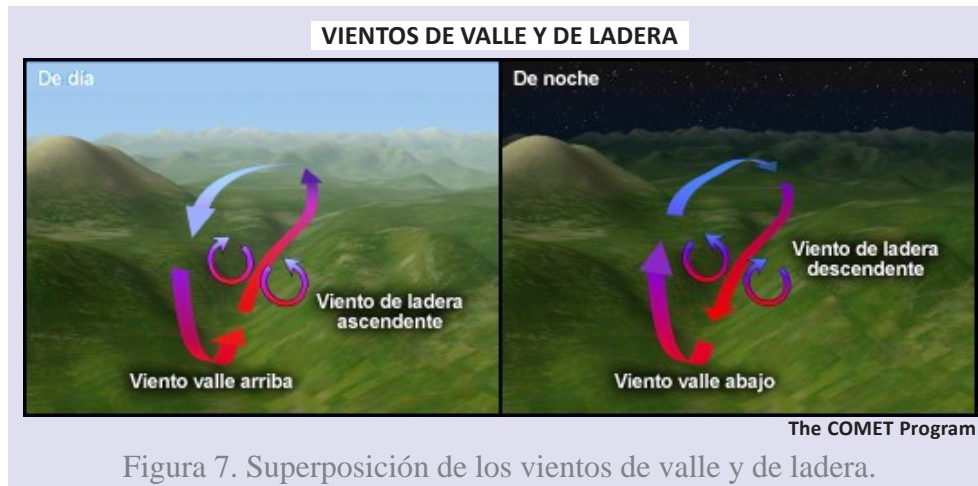


Figura 7. Superposición de los vientos de valle y de ladera.

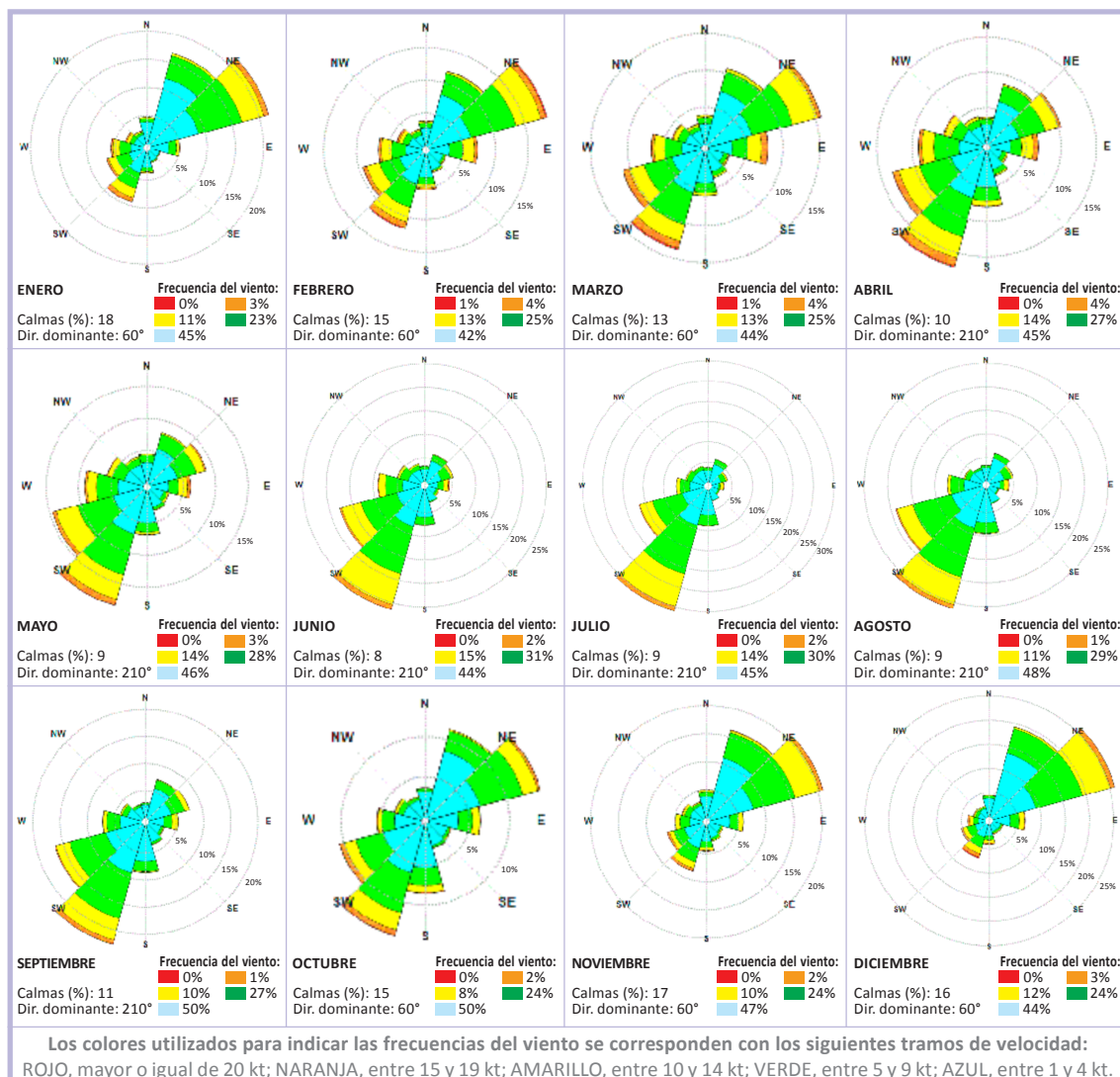


Figura 8. Rosas de viento mensuales en el **aeropuerto de Sevilla** (periodo 2000-2017).

En julio se produce la máxima frecuencia de la brisa, soplando el SW más de un 30 % durante dicho mes.

La orientación de la ladera de la montaña con respecto al Sol también influye en la intensidad de la brisa de ladera ascendente. Las laderas con pendientes expuestas al sur reciben mayor insolación por lo que las brisas de ladera ascendentes serán más intensas.

Los vientos de valle y de ladera están íntimamente relacionados y pueden influenciarse entre ambos.

La superposición de los vientos de valle y de ladera lleva a un giro horario (antihorario) del viento en la parte izquierda del valle (derecha) a lo largo del día.

En el valle del Guadalquivir la máxima frecuencia de las brisas de valle tiene lugar durante los meses de verano, que es cuando la atmósfera está más despejada y hay vientos en calma en altura. La existencia de vientos fuertes en altura puede suprimir las brisas valle arriba y valle abajo provocando la mezcla vertical y perturbando la capa de inversión.

Otra de las condiciones ambientales que pueden inhibir la brisa de valle es la humedad del suelo, ya que minimiza el calentamiento diurno de la superficie. Una estación primaveral muy lluviosa puede hacer que las brisas del valle sean menos intensas a comienzos del verano. Sin embargo, estas condiciones de alta humedad, a su vez, fomentan la generación de vientos valle abajo por la noche.

2. La baja térmica o la que todo lo atrae

Tal como sucede en otros puntos de la meseta durante el verano, en el valle del Guadalquivir se forma una pequeña baja térmica en la parte alta del valle. Suele formarse cerca de las localidades de Andújar y Montoro durante las primeras horas de la mañana, y a lo largo de la tarde se va haciendo mayor a la vez que se desplaza valle abajo.

Se denomina baja térmica a un pequeño sistema cerrado de bajas presiones en superficie, que se forma en respuesta al intenso calentamiento diabático durante el verano. Según algunos autores un calentamiento de 3 o 4 °C afectando un espesor de aire de 2000 metros puede producir una diferencia de presión en superficie de hasta 4 hPa.

Si analizamos la presión media a lo largo de un día del mes de julio en tres ciudades a lo largo del valle del Guadalquivir (figura 9), podemos ver como esta se va reduciendo a lo largo del día, llegando a un mínimo a las 18 UTC, que en el horario local serían las 20 horas, ya que hay dos horas de diferencia con respecto a la hora UTC. Según ascendemos por el valle la presión es menor, sobre todo de día. Al anochecer cesa el calentamiento diurno y las presiones se van igualando hasta ser prácticamente iguales a las 07 UTC (9 horas locales).

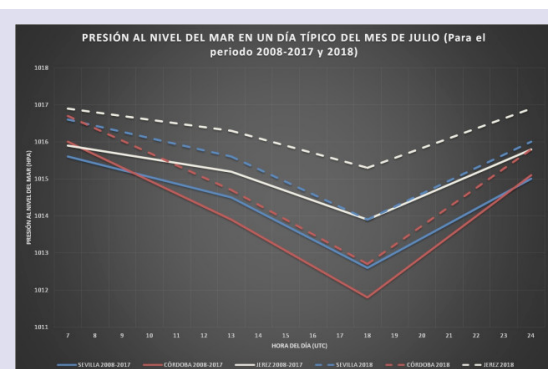


Figura 9. La presión durante este mes de julio de 2018 ha sido más alta que en los últimos diez años. A las 18 UTC la diferencia de presión entre Sevilla y Córdoba ha aumentado 0,4 hPa, y entre Jerez y Córdoba 0,6 hPa.

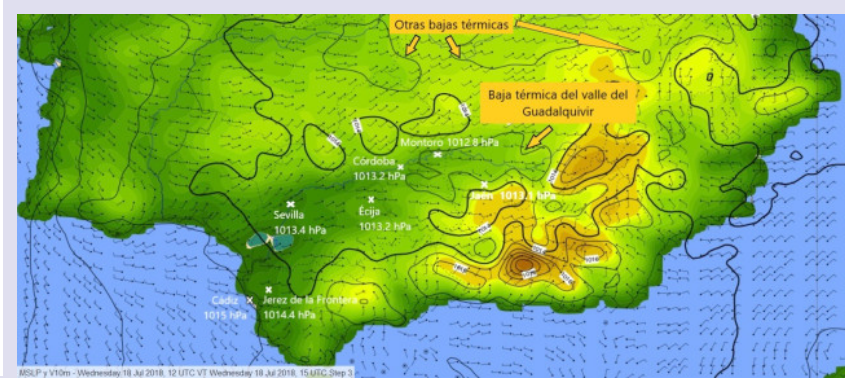


Figura 10. Viento a 10 m y presión reducida a nivel del mar (ECMWF, 18 julio 2018, 15 UTC). Durante el verano suele formarse una pequeña baja térmica en la cabecera del valle, cerca de las localidades de Montoro y Andújar, extendiéndose valle abajo hacia Córdoba y Sevilla hacia el final de la tarde.

Como vemos en la figura 10 el mayor gradiente de presión a las 15 UTC del día 18 de julio tiene lugar en la parte baja del valle. Por ejemplo, entre Cádiz y Sevilla la diferencia de presión es de 1,6 hPa mientras que entre Sevilla y Montoro es de solo 0,6 hPa. Esta mayor diferencia de presión está en consonancia con la mayor velocidad del viento en la parte baja del valle.

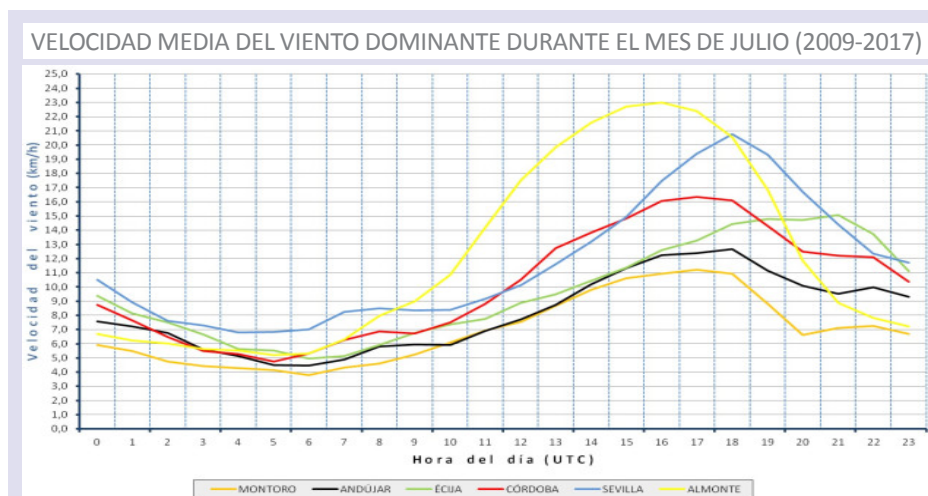


Figura 11. Si analizamos la velocidad media del viento durante el mes de julio para varias estaciones del valle podemos ver como la máxima velocidad se produce en la parte baja del valle y la menor en la parte alta. La hora de la velocidad máxima se corresponde aproximadamente con la máxima diferencia de presión.

3. Ciclo diurno de la brisa de valle y de ladera en el valle del Guadalquivir durante el mes de julio

Los vientos de valle y de ladera presentan un marcado ciclo diurno y puede observarse (figura 12) casi siempre la misma secuencia en un día de verano o con condiciones de calma y estabilidad.

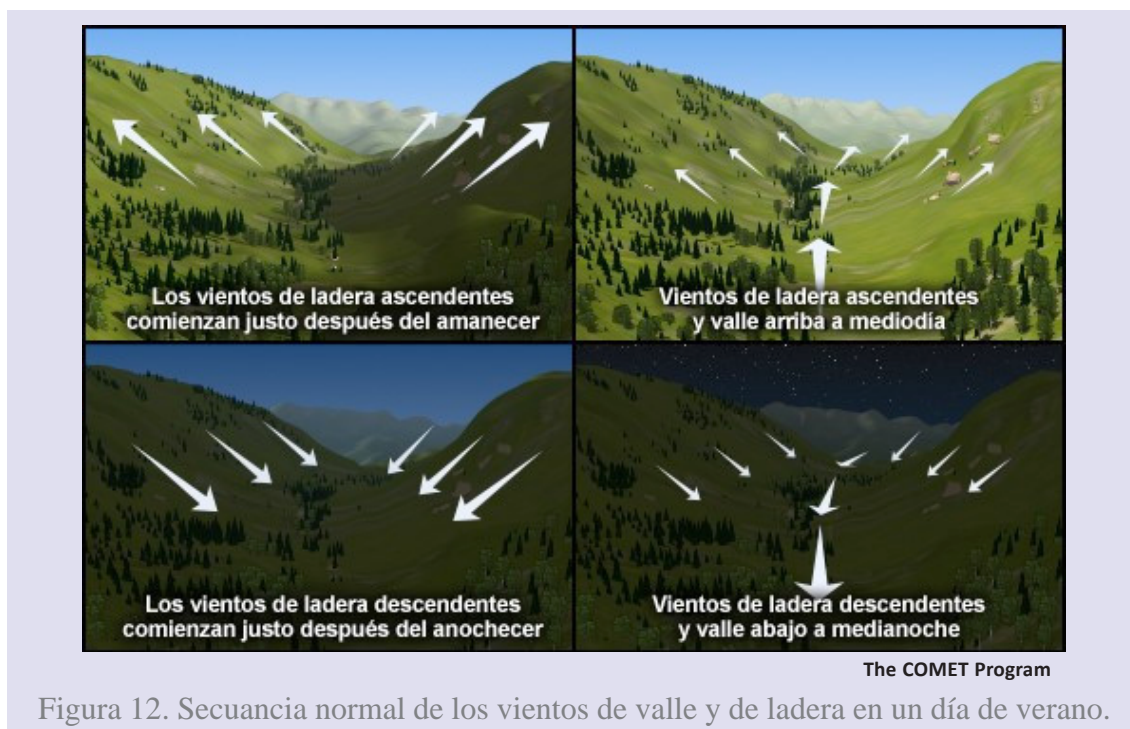


Figura 12. Secuencia normal de los vientos de valle y de ladera en un día de verano.

Veamos cada una de dichas secuencias:

1. Las brisas de ladera ascendentes se forman justo después del amanecer, unos 30 minutos después de que los primeros rayos de sol alcanzan la ladera de la montaña. Alcanzan la máxima velocidad a media mañana y suelen tener menos de 100 metros de espesor. En el valle del Guadalquivir las brisas de ladera ascendentes a la izquierda del valle (Sierra Morena) comienzan antes y son más intensas debido a su mejor orientación hacia el sol. La brisa de valle descendente continúa soplando durante las primeras horas del día y suele ser un viento muy flojo, como podemos ver en la figura 13.
2. Los vientos valle arriba se forman más tarde, cuando la diferencia de temperatura entre el valle y sus alrededores es lo suficientemente grande (fig. 14).

En las sierras la brisa de ladera ascendente de la mañana empieza a interactuar con la brisa del valle con lo que el viento va girando poco a poco en sentido horario (en la ladera norte del valle) o antihorario (en la ladera sur) a lo largo de la tarde (figs. 15 y 16).

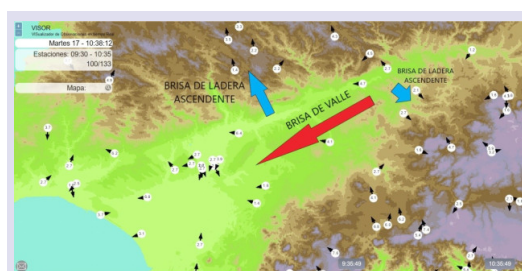


Figura 13. Observaciones de viento en varias estaciones de las redes de AEMET, Meteoclimatic y Wunderground (17/07/2018, 10:38 UTC).

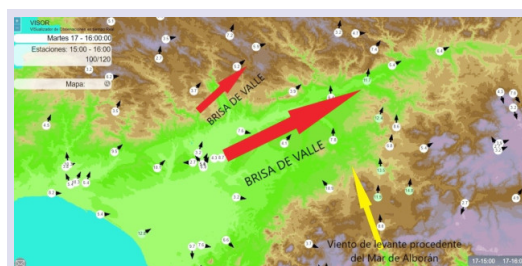


Figura 14. Observaciones de viento en varias estaciones de las redes de AEMET, Meteoclimatic y Wunderground (17/07/2018, 16 UTC). Los días con viento de levante en el mar de Alborán estos se canalizan por el valle del Guadalquivir alcanzando el valle del Guadalquivir.

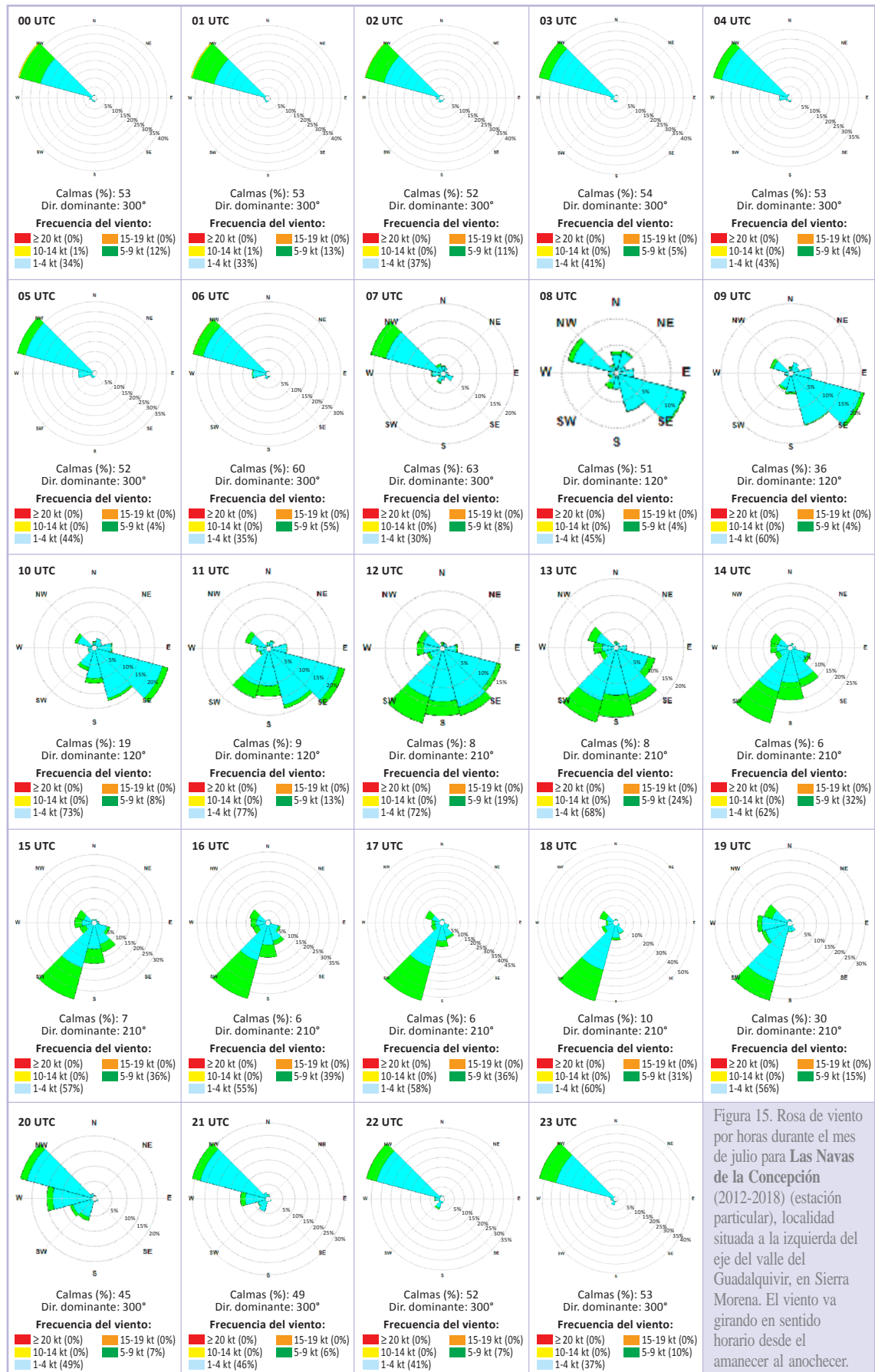
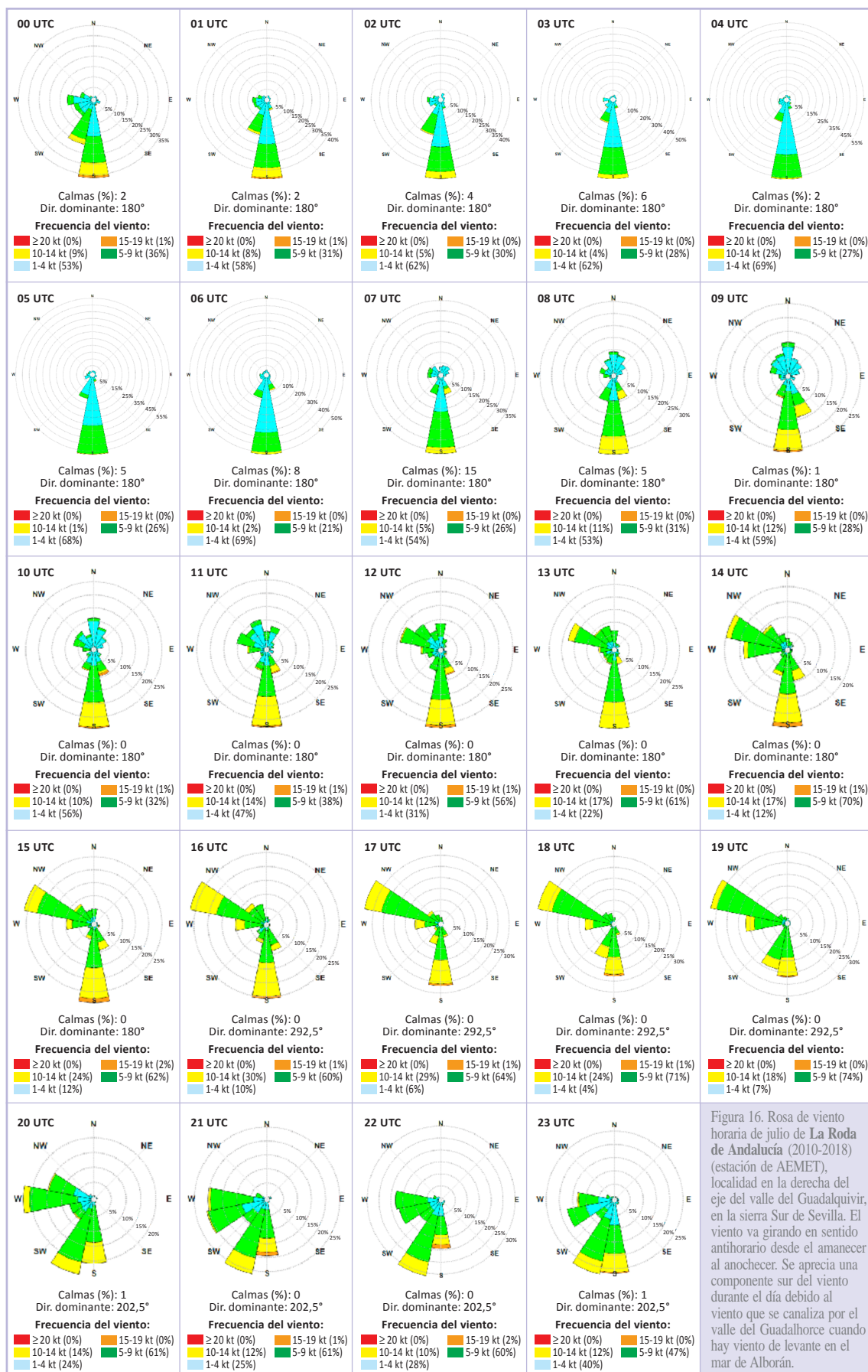


Figura 15. Rosa de viento por horas durante el mes de julio para Las Navas de la Concepción (2012-2018) (estación particular), localidad situada a la izquierda del eje del valle del Guadalquivir, en Sierra Morena. El viento va girando en sentido horario desde el amanecer al anochecer.



En el gráfico de la figura 17 siguiente se representa un día típico del mes de julio en Sevilla. El día típico se calcula tomando la moda de la dirección del viento cada hora (es decir, la dirección de viento que más se repite durante cada hora). En el aeropuerto de Sevilla la entrada usual de la brisa es hacia las 10 UTC (12 horas locales), siendo la intensidad máxima del viento 10 nudos (18,5 km/h) a las 18 UTC (20 horas locales).

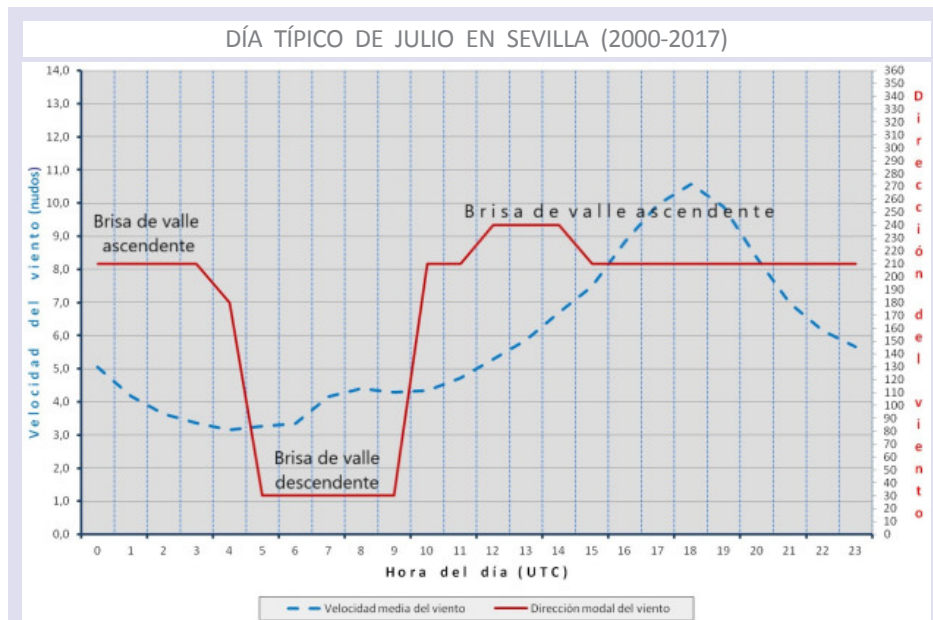


Figura 17. Dirección y velocidad del viento dominante para cada hora del día durante el mes de julio en el aeropuerto de Sevilla (AEMET).

Hay que advertir que la brisa de valle descendente en Sevilla empieza a soplar después de la medianoche pero no se convierte en el viento dominante hasta las 5 UTC de la mañana. En la rosa de viento de la figura 19 se aprecia mejor.

3. Las brisas de ladera descendentes se forman justo después del anochecer (en las pendiente de los valles). La brisa de valle ascendente continúa soplando después del anochecer, aunque su intensidad va disminuyendo a lo largo de la noche.

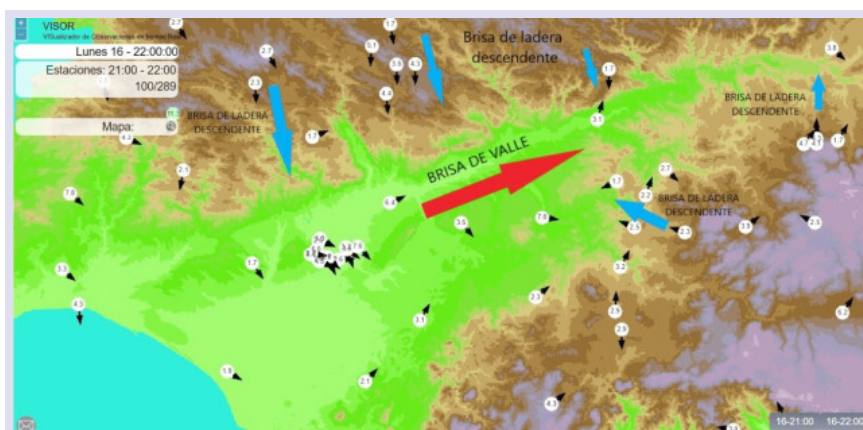


Figura 18. Observaciones de viento en varias estaciones de las redes de AEMET, Meteoclimatic y Wunderground (16 de julio de 2018, 22 UTC).

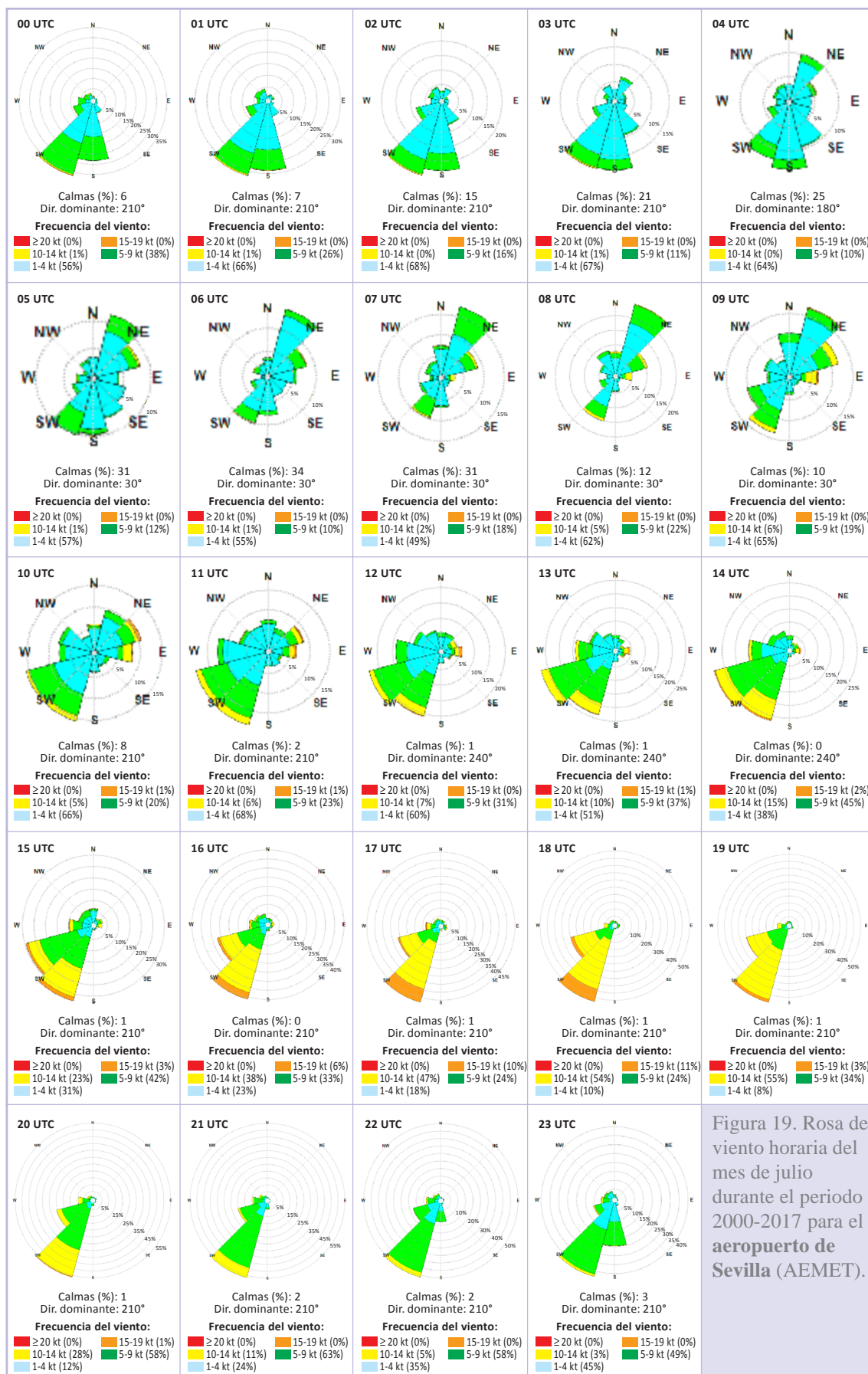


Figura 19. Rosa de viento horaria del mes de julio durante el periodo 2000-2017 para el aeropuerto de Sevilla (AEMET).

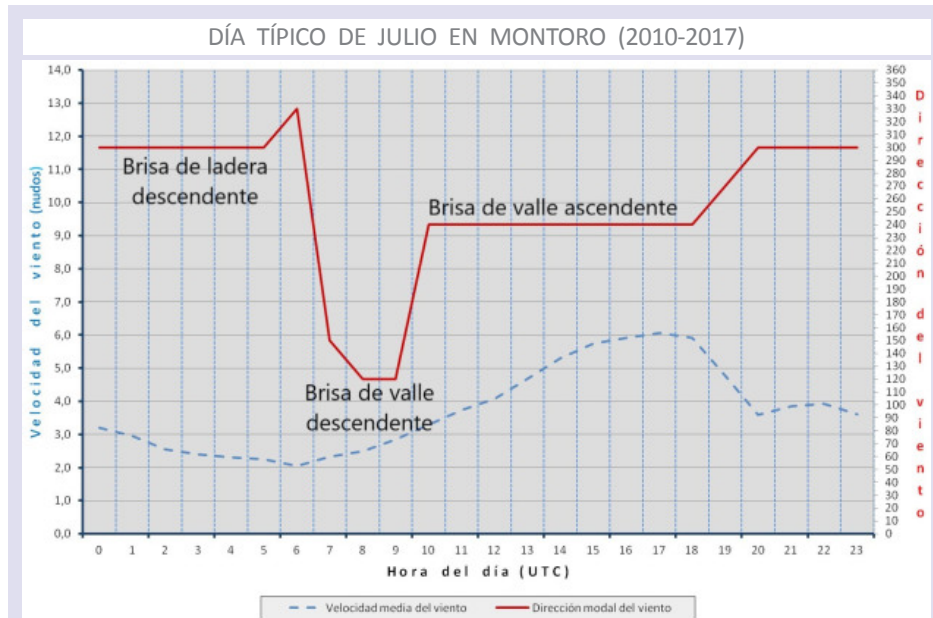


Figura 20. Dirección y velocidad del viento dominante para cada hora del día durante el mes de julio en Montoro. La velocidad del viento a las 18 UTC es menor que en Sevilla y Córdoba. La entrada de la brisa (WSW) suele ser a las 10 UTC.

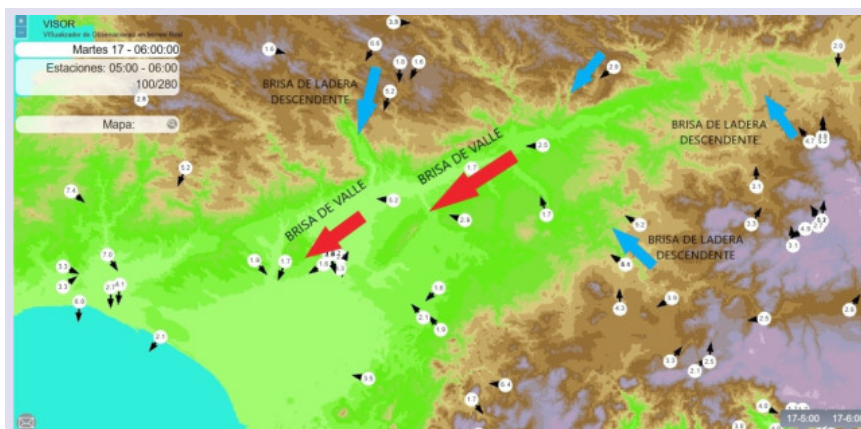


Figura 21.
Observaciones de
viento en varias
estaciones de las
redes de AEMET,
Meteoclimatic y
Wunderground
(17 de julio de
2018, 06 UTC).

Hay, por tanto, tres factores que producen diferencias de temperatura a lo largo del valle:

1. La forma de la pared lateral del valle y por consiguiente el volumen del valle (figura 22). Las paredes laterales en la cabecera de un valle son generalmente convexas (c), y por tanto encierran menos volumen de aire que las paredes en forma de U o de V que se encuentran en la mitad del valle. Al tener menos volumen de aire este se calienta antes. Esto sucede en la cabecera del valle de Guadalquivir en localidades como Montoro y Andújar, donde al estar el valle más encajonado hay menos aire que calentar.
2. Las ganancias o pérdidas de radiación solar de onda larga debido a los distintos tipos de suelo a lo largo del valle. Por ejemplo, las temperaturas diurnas en una zona del valle aumentarán si el albedo del suelo en esa zona es bajo.
3. Cambios de humedad a lo largo del valle. Por ejemplo, si la parte superior de un valle está seco y la parte inferior está húmeda, una parte de la radiación solar entrante durante el día y la noche va a calentar o enfriar más el aire en la parte superior que en la inferior, debido a que parte de la energía disponible se utilizará para evaporar o condensar dicho exceso de agua.

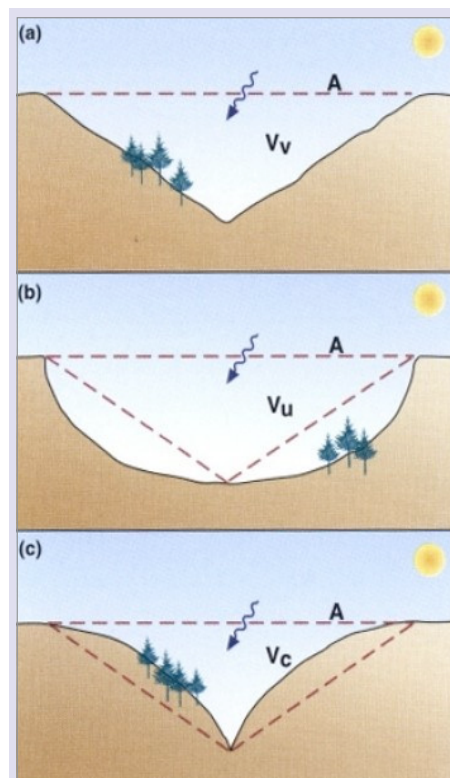


Figura 22. La forma del valle (c) encierra menos volumen de aire en su interior por lo que se calentará antes que las formas (a) y (b). (Imagen de “Mountain Meteorology”, de C. Whiteman).

5. Inversión de subsidencia: la tapadera mágica



Figura 23. Simulación del proceso de inversión por subsidencia.

Normalmente en verano tenemos sobre la Península una inversión de subsidencia a una cierta altura del suelo debido a la persistencia del anticiclón. Una inversión de subsidencia es el aumento de la temperatura del aire con la altura debido al hundimiento paulatino de una capa de aire asociado al anticiclón. La subsidencia de este aire que desciende desde niveles altos de la atmósfera provoca un calentamiento por compresión adiabática y crea una capa de aire caliente, seco y muy estable.

Una inversión actúa como una especie de tapadera, ya que el aire que está por debajo de la inversión apenas se mezcla con el aire situado por encima.

La inversión en verano suele estar alrededor de unos 1500 metros de altura en el interior, y esa es la razón de que en meteorología se use el nivel de 850 hPa para calcular la temperatura máxima. Si el tiempo es estable y se espera una buena mezcla del aire, la curva de estado de la temperatura seguirá la adiabática seca, esto es, el aire se irá calentando 1 °C por cada 100 metros de descenso. De esta forma se puede calcular aproximadamente la temperatura máxima en superficie conociendo la temperatura a unos 1500 metros de altura.

Conforme el aire por debajo de la inversión se va calentando a lo largo de la mañana, este se va mezclando por turbulencia y la inversión va ascendiendo, llegando a desaparecer en algunos casos.

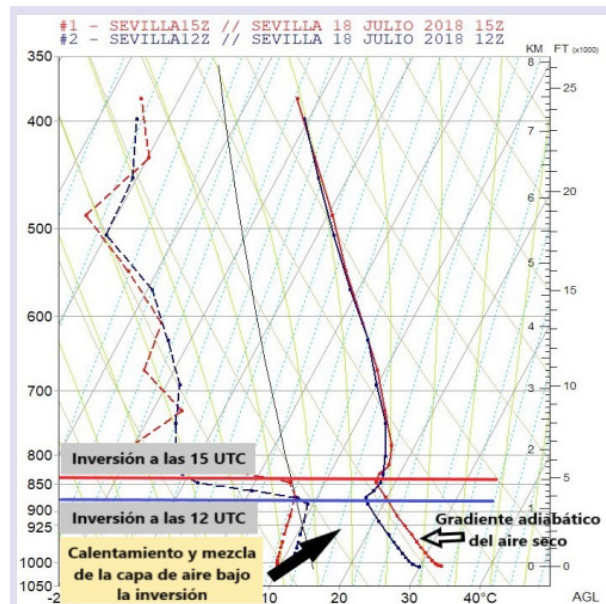


Figura 24. Evolución del sondeo de Sevilla del 18 de julio de 2018 desde las 12 UTC a las 15 UTC (modelo ECMWF). La inversión de subsidencia va ascendiendo conforme la capa que está por debajo se va calentando y mezclando debido al calentamiento diurno. El área entre los 2 sondeos es proporcional al calor añadido por la atmósfera en ese periodo.

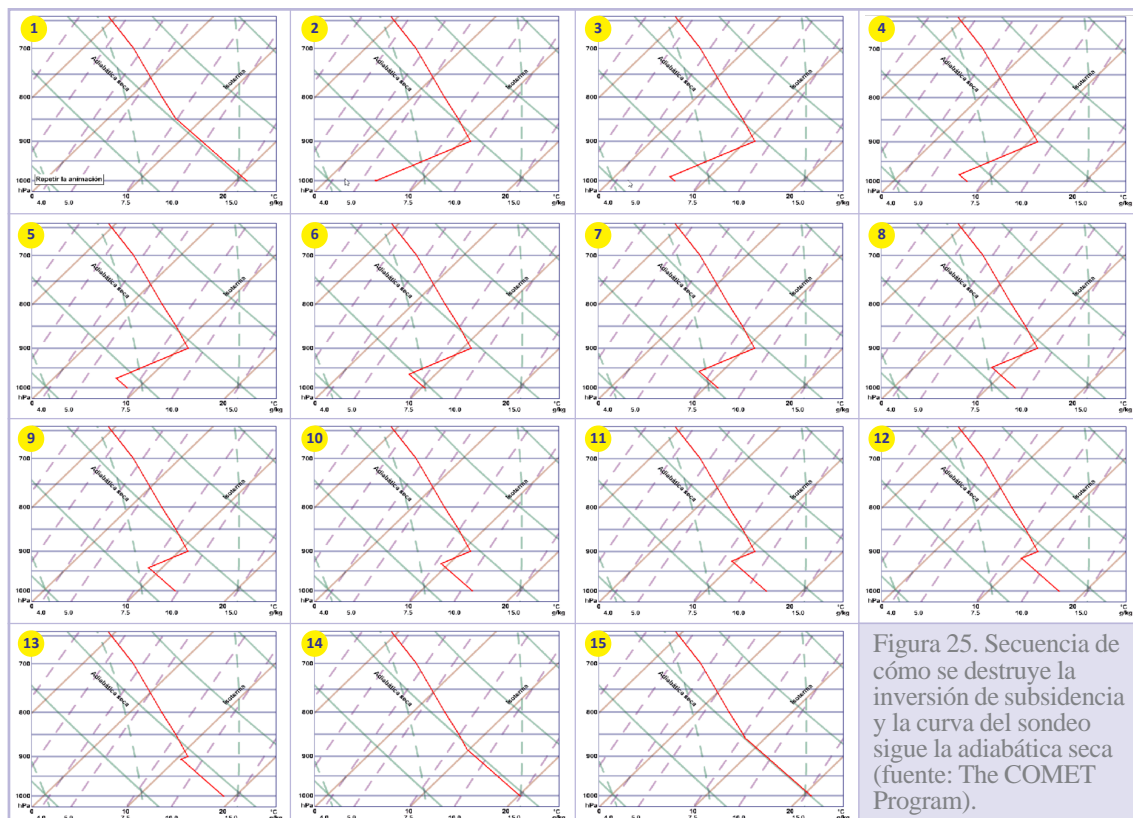


Figura 25. Secuencia de cómo se destruye la inversión de subsidencia y la curva del sondeo sigue la adiabática seca (fuente: The COMET Program).

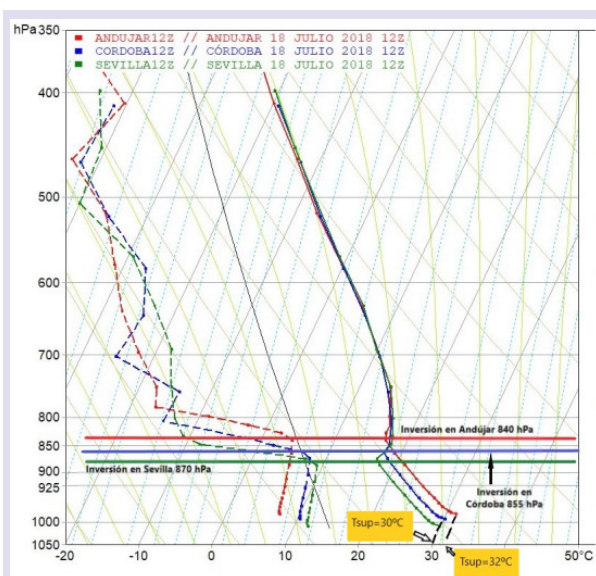


Figura 26. Tres sondeos superpuestos de tres ciudades a las 12 UTC del 18 de julio de 2018 (modelo ECMWF). Según el sondeo la temperatura en superficie en Andújar a las 12 UTC es de 32 °C, mientras que en Sevilla y Córdoba es de 30 °C. Aunque la inversión de Córdoba está más alta, Sevilla tiene la ventaja de su menor altitud sobre el nivel del mar, por lo que sus temperaturas en superficie son iguales.

Las inversiones de temperatura en los valles difieren significativamente de las inversiones en las llanuras cercanas, principalmente porque los valles se someten a ciclos de calentamiento y enfriamiento más intensos. Las inversiones de los valles son por tanto más profundas pero tienen una estabilidad promedio más débil. En el valle del Guadalquivir la inversión de subsidencia suele estar más alta conforme ascendemos en el valle, ya que como vimos antes el volumen de aire a calentar es menor.

Resumiendo algunos conceptos, tenemos que el valle del Guadalquivir es como una gran caja de aire de forma triangular cerrado en su parte superior por una inversión de subsidencia, y que se va calentando por su parte inferior debido al calentamiento diurno. La parte alta del valle (Montoro, Andújar, etc.) se calienta antes debido al menor volumen de aire contenido (está a más altitud y más encajonado) y por tanto la inversión asciende más en dicha zona.

La inversión a lo largo del día puede llegar a desaparecer o no. Para tener una temperatura alta en una determinada localidad interesa, por tanto, que a la hora que se alcanza la temperatura máxima, la altura de la inversión esté lo más alta posible, e incluso que desaparezca, ya que la línea del sondeo que va desde la inversión hasta el suelo será igual para dos ciudades con la misma temperatura a 850 hPa (esto es, seguirá la adiabática seca). Esta condición se cumple mejor en la parte alta del valle. Por otro lado, interesa que dicha localidad tenga poca altitud, ya que la línea de la adiabática seca llegará hasta más abajo en el sondeo, calentándose más el aire por compresión adiabática. Esta condición, como es lógico, se cumple en la parte baja del valle.

A todo esto hay que añadir el efecto de las brisas de valle. Si comienzan a soplar pronto y tienen procedencia marítima (SW), tendrán un efecto negativo sobre las temperaturas, sobre todo en la parte baja del valle. En la parte alta del valle los vientos en superficie son más débiles por lo que se favorece la transferencia de calor del suelo hacia el aire por conducción (mayor gradiente superadiabático cerca del suelo).

6. Los días de levante

Los días con viento de levante no favorecen la formación de las brisas de valle debido a dos efectos: primero, la baja relativa del golfo de Cádiz, que hace descender más la presión

en la zona baja del valle, y segundo, el calentamiento del suelo de dicha zona por los vientos de levante, que tiene como efecto también el hacer descender la presión en superficie en la zona de la entrada del valle.

Aun soplando viento de levante, se forma casi siempre una pequeña baja térmica cerca de Andújar y Montoro, por lo que el viento de levante que se canaliza por el valle del Guadalhorce (Málaga) se va curvando y llega a Córdoba y Montoro en forma de oestes. A Sevilla el viento llega del este, aunque a veces se forma una débil baja térmica cerca de Sevilla y el viento se hace variable o viene del oeste o suroeste (a veces sin procedencia marítima, es el viento de levante que se curva hacia la baja térmica).

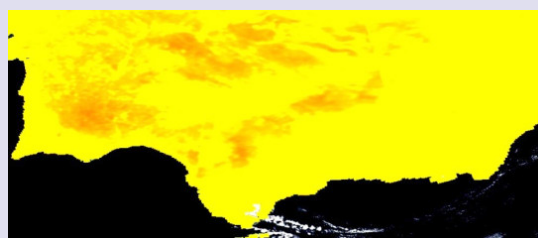


Figura 27. Termografía tomada por el satélite AQUA 12 agosto 2016 a las 14 UTC. Ese día había aviso naranja por fuerte viento de levante en el Estrecho y campiña de Cádiz.



Figura 28. Viento a 10 m y presión reducida a nivel del mar (ECMWF, 02/08/2018, 15 UTC). La presión es menor en Sevilla (1011 hPa) que en Montoro (1011,5 Pa) y Andújar (1011,8 hPa). La baja térmica de Sevilla puede ser debida, además de al calentamiento, a un dipolo orográfico por las sierras de Cádiz.

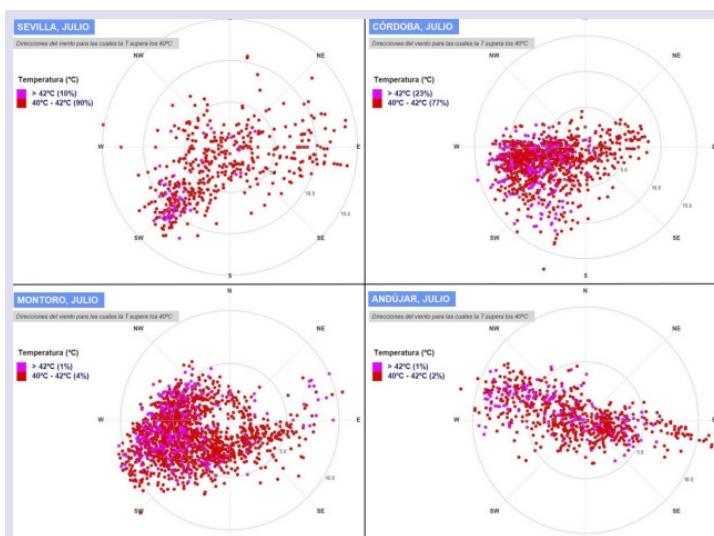


Figura 29. Dirección del viento cuando la temperatura supera los 40 °C y 42 °C durante el mes de julio en cuatro estaciones de la red de AEMET (tomado de datos diezminutales de viento y temperatura entre 2010 y 2017). Las temperaturas mayores de 40 °C vienen acompañadas sobre todo con vientos del oeste y suroeste. A veces también con vientos del este, sobre todo en Sevilla y Andújar.

7. La brisa del mar en el valle del Guadalquivir

La brisa marina tiene el mismo origen térmico que la brisa de valle, esto es, se produce debido a una diferencia de temperatura, aunque en este caso la diferencia se produce entre el mar y la tierra cercana a la costa.

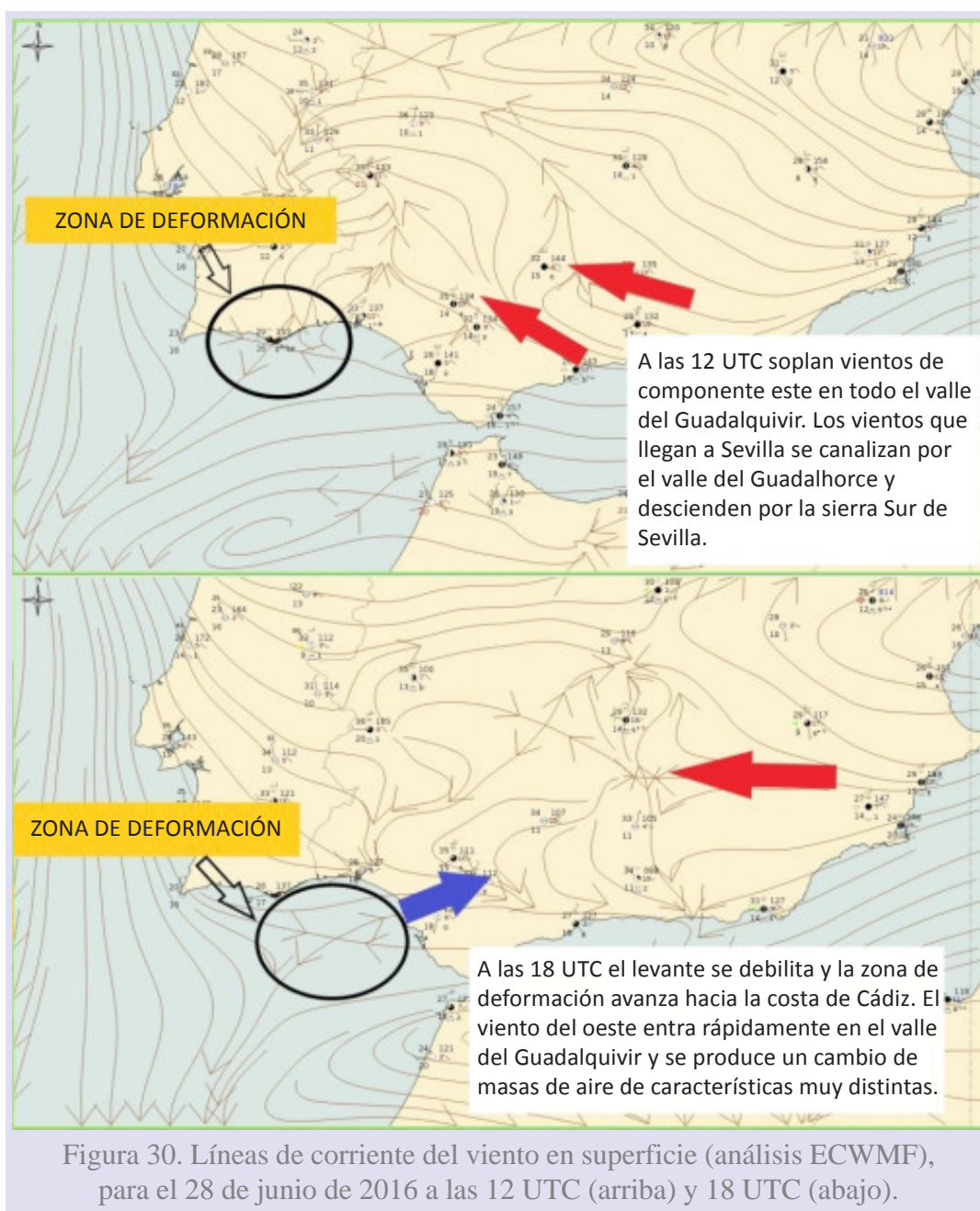
Veamos algunas de las diferencias entre la brisa marina y entre la brisa de valle o baja térmica:

- a) La brisa marina es un fenómeno de escala local mientras que la baja térmica es un fenómeno regional de mayor escala.
- b) A la brisa marina le acompaña siempre una pequeña zona frontal en la zona de máximo gradiente de temperatura llamado frente de brisa. Al paso del frente de brisa la temperatura desciende y la humedad aumenta bruscamente. La baja térmica no posee dicha zona frontal.
- c) En la brisa marina el viento se establece primero mar adentro (sobre unos 4 o 5 km mar adentro) y luego avanza hacia la costa. En la baja térmica el viento se establece directamente hacia la zona donde la presión ha descendido. Se desencadena bruscamente, y no se ve venir como el frente de brisa.
- d) En la baja térmica la fuerza del viento es casi uniforme en 3 o 4 km partiendo de la costa mientras que en la brisa marina el viento es más fuerte cerca de la costa.
- e) La brisa de mar está afectada en mayor medida por la fuerza de Coriolis, por lo que la dirección del viento va girando hacia la derecha conforme la brisa va penetrando tierra adentro. Al final de la tarde el giro de la brisa hacia la derecha hace que esta pueda acabar paralela a la costa. Este es el motivo por lo que en nuestras latitudes la penetración máxima de la brisa del mar tierra adentro sea de 30 o 40 km, aunque se han observado brisas alcanzando distancias mayores. Por el contrario la brisa de valle no se ve afectada apenas por la fuerza de Coriolis, ya que al estar confinada entre sistemas montañosos el viento sigue la dirección del eje del valle.
- f) Ambas tienen una corriente de retorno en altura dirigida en sentido contrario denominada a veces como contrabrisa, pero mientras que en la brisa marina constituye su motor de funcionamiento principal (la corriente de retorno desciende sobre el mar y crea una zona de divergencia en superficie que empuja a la brisa marina hacia tierra) en la brisa de valle es muy débil, y raramente es observada.

En el valle del Guadalquivir tanto la brisa marina como la brisa de valle tienden a superponerse por ser ambas del suroeste, y puede llegar a ser difícil distinguir una de otra. Incluso una puede llegar a inhibir a la otra. Por ejemplo, una brisa de valle muy fuerte puede hacer que no salte la brisa marina ya que reduce el gradiente de temperatura entre el mar y la tierra y además se opone a la contrabrisa, la cual es el motor de la brisa marina. Por el contrario, un viento flojo procedente de tierra ayudará más a que se forme la brisa del mar.

A veces en algunas localidades del valle del Guadalquivir alejadas de la costa como por ejemplo Sevilla, se observa durante varios días a lo largo del verano como por la tarde la

temperatura descende y la humedad aumenta bruscamente. Podría pensarse en un primer momento que se trata del frente de la brisa marina, pero la mayoría de las veces que esto sucede se observa una zona de deformación frente a las costas de Cádiz y Huelva. Dicha zona de deformación se produce por el choque del viento de levante (este) y de poniente (oeste). La zona de deformación se genera normalmente en el sur de Portugal y se va desplazando lentamente hacia el E a la vez que los vientos de levante van perdiendo intensidad. Esto hace que los vientos de levante dentro del valle, recalentados por la larga trayectoria terrestre, sean reemplazados rápidamente por el viento del oeste, mucho más húmedo y templado.



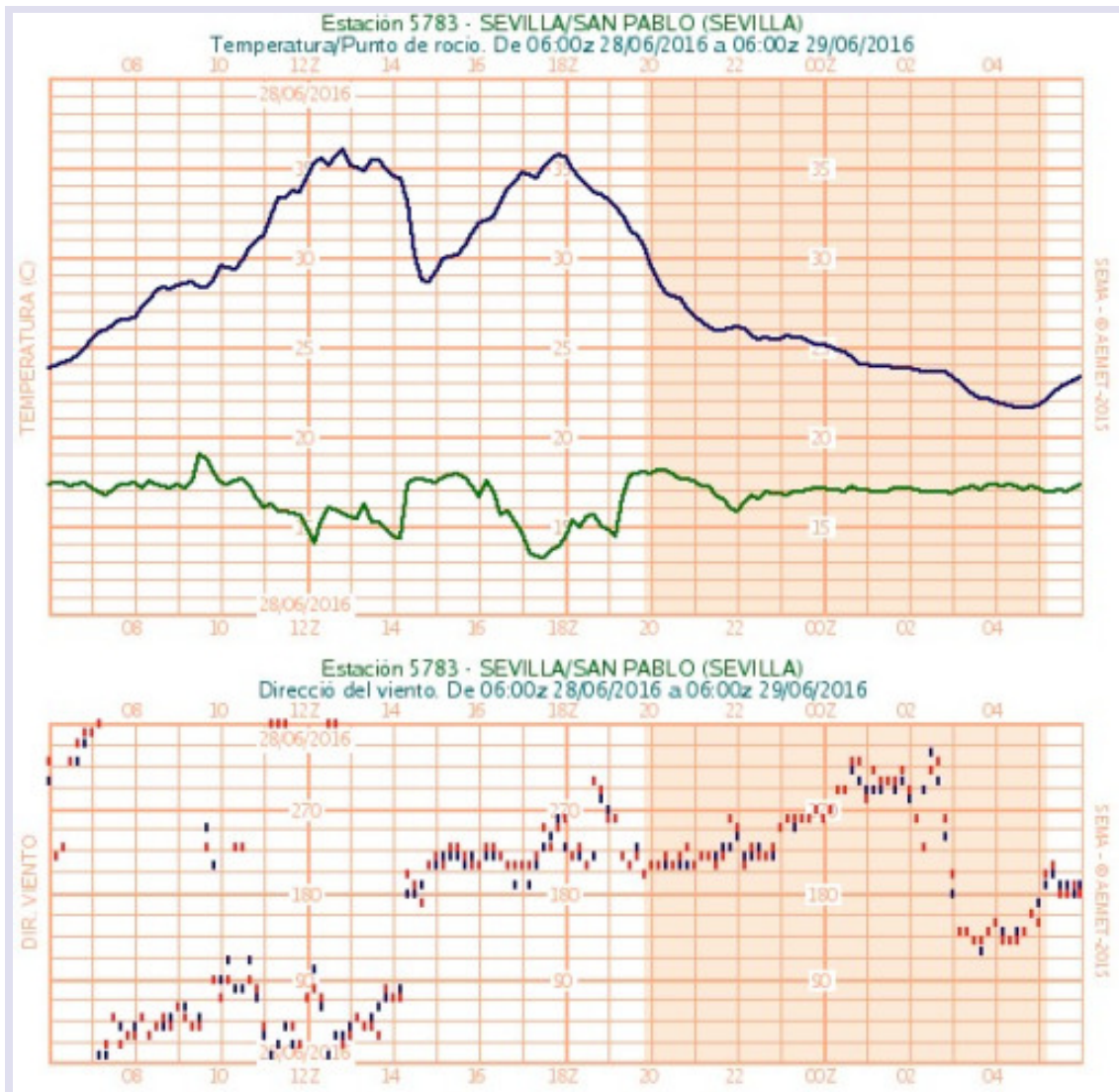


Figura 31. A las 15 UTC la temperatura desciende bruscamente al entrar los vientos de dirección sur. Una vez que pasa la zona de deformación vuelven a entrar vientos del oeste pero procedentes de tierra, y la temperatura vuelve a subir.

Bibliografía

BERNOT, J. Y., 2006. Meteorología y estrategia. Ed. Juventud.

JANSÁ CLAR, A., 1990. Notas sobre análisis meteorológico mesoscalar en niveles atmosféricos bajos. Instituto Nacional de Meteorología.

THE COMET PROGRAM, 2006. Forzamiento térmico de la circulación II: brisas de valle y de montaña. Módulo COMET MetEd. UCAR.

WHITEMAN, C. D., 2000. Mountain Meteorology. Oxford University Press.